

DEUTSCHE DEMOKRATISCHE REPUBLIK
AMT FÜR ERFINDUNGS- UND PATENTWESEN

PATENTSCHRIFT 139 760

Wirtschaftspatent

gemäß § 6 Absatz 1 des Änderungsgesetzes zum Patentgesetz

Int. Cl.³

(11)	139 760	(45)	10.12.80	3(51) G 01 B 9/02
(21)	WP G 01 B / 209 326	(22)	27.11.78	
(44) ¹	16.01.80			

(71) siehe (72)

(72) Krieg, Werner, DD

(73) siehe (72)

(74) VEB Carl Zeiss Jena, Büro für Schutzrechte, 6900 Jena,
Carl-Zeiss-Straße 1

(54) Interferometrische Einrichtung zum Messen von Abständen
und Abstandsänderungen

Titel: Interferometrische Einrichtung zum Messen von
Abständen und Abstandsänderungen

Anwendungsgebiet der Erfindung

Die Erfindung betrifft eine interferometrische Einrichtung zum Messen von Abständen und Abstandsänderungen eines Objektes im Bezug auf einen Fixpunkt, insbesondere für Feinmeßgeräte.

Charakteristik der bekannten technischen Lösungen

Aus der DE-OS 2012.946 ist eine interferometrische Vorrichtung zur Bestimmung des Abstandes eines Objektes im Bezug auf eine definierte Lage mittels einer von einer Lichtquelle ausgesandten Strahlung bekannt, die nach einer Wechselwirkung mit dem Objekt zusammen mit einer, einem Referenzstrahlengang durchlaufenen Strahlung einem fotoelektrischen Empfänger zugeführt wird. Die von der Lichtquelle ausgehende Strahlung ändert die Frequenz um einen Mittelwert. Die interferometrische Vorrichtung besitzt in einem der zwei Arme einen mit dem Objekt mechanisch fest verbundenen Reflektor. Die Strahlung ist polarisiert und mindestens einer der Arme der Vorrichtung enthält mindestens eine $\frac{3}{4}$ - Platte.

Diese Einrichtung besitzt jedoch den Nachteil, daß Messungen des Abstandes des Objektes von einer definierten Lage nur möglich sind, wenn diese Lage in der optischen Achse oder in deren unmittelbaren Nähe des den Meßstrahlengang um-

fassenden Armes ist. Liegt die definierte Lage außerhalb der optischen Achse, was bei derartigen Messungen meistens der Fall ist, so sind diese interferometrischen Messungen nicht durchführbar.

5 Ziel der Erfindung

Es ist deshalb Zweck der Erfindung, die Nachteile des Standes der Technik zu beseitigen und die Möglichkeiten interferometrischer Längenmessungen zu erweitern.

Darlegung des Wesens der Erfindung

- 10 Der Erfindung liegt die Aufgabe zugrunde, eine interferometrische Einrichtung zum Messen von Abständen und Abstandsänderungen eines in beliebiger Richtung außerhalb der optischen Achse verschobenen Objektes zu einem Fixpunkt zu schaffen.
- 15 Erfindungsgemäß wird diese Aufgabe bei einer solchen Einrichtung, umfassend eine monochromatische Lichtquelle, strahlenteilende Elemente, einen Meß- und einen Referenzstrahlengang und fotoelektrische Empfänger, dadurch gelöst, daß im Meßstrahlengang optische Elemente zur Erzeugung
- 20 eines divergierenden Lichtbündels im Objektraum und im Referenzstrahlengang abbildende und steuernde optische Elemente zur Erzeugung eines dem vom Objekt reflektierten Lichtbündel in Apertur und Richtung äquivalenten Vergleichsbündels vorgesehen sind, und daß ein aus fotoaktiven Einzelelementen zusammengesetzter, flächenhafter und Gleichlichtanteile unterdrückender fotoelektrischer Empfänger vorgesehen ist.

- 25 Vorteilhaft ist, wenn sowohl im Meß- als auch im Referenzstrahlengang strahlenaufweitende afokale optische Systeme und diesen zugeordnete Mattscheiben vorgesehen sind,
- 30 wobei diese Mattscheiben in der lichtquellenseitigen Brennebene einer die eine Mattscheibe auf der fotoelektrischen Empfänger und einer die andere Mattscheibe in Richtung auf einen mit dem Objekt verbundenen Retroreflektor projizierenden Linse angeordnet sind.

- 35 Zur Erzeugung der beiden Strahlengänge ist es vor-

teilhaft, daß im Beleuchtungsstrahlengang eine opto-
akustische Zelle oder ein anderes elektro-optisches Bau-
element zur Aufspaltung des von der Lichtquelle ausgehenden
Lichtbündels in eine 0.- und 1.-Ordnung angeordnet ist,
5 wobei das Bündel 0.-Ordnung für den Meß- und das Bündel
1.-Ordnung für den Referenzstrahlengang vorgesehen sind.

Es ist ferner vorteilhaft, daß der Retroreflektor im
Meßstrahlengang auf die halbe mittlere Meßlänge $f' = \frac{g_m}{2}$
fokussiert ist, wobei die Apertur des Retroreflektor so
10 bemessen ist, daß die Unparallelität der interferierenden
Wellenfronten $\frac{\lambda}{8}$ nicht übersteigt und daß im Meßstrahlen-
gang eine amplitudenmodulierende Zelle angeordnet sind.
Für manche Anwendungszwecke kann es günstig sein, daß der
mit dem Objekt verbundene Retroreflektor mit einer kon-
15 vexen Reflexionsfläche versehen ist.

Zum Erfassen der den Abständen und den Abstands-
änderungen analogen Signale besitzt der fotoelektrische
Empfänger eine kreuzrasterförmige fotoaktive Schicht,
deren fotoaktive Einzelelemente durch ein gemeinsames
20 kapazitives Kopplungsmittel mit einem gemeinsamen Leiter
verbunden sind, wobei der fotoelektrische Empfänger auf
festgelegte Frequenzen der einfallenden Strahlung abge-
stimmt ist.

Diese interferometrische Einrichtung hat den Vorteil,
25 daß Abstandsmessungen zwischen einem Objekt und einem
Fixpunkt ermöglicht werden, auch wenn das Objekt richtungs-
verschoben, d.h. außerhalb der optischen Achse des Meß-
strahlenganges liegt. Es entfallen somit mechanische und
regelungstechnische Mittel, mit denen der Meßstrahlengang
30 auf das Objekt bei außeraxialer Lage desselben gerichtet
werden müßte. Es wird ferner der Anwendungsbereich der-
artiger Einrichtungen erweitert.

Ausführungsbeispiel

Die Erfindung soll nachstehend an Ausführungsbeispielen
35 erläutert werden. In der zugehörigen Zeichnung zeigen

Fig. 1 den Strahlengang einer interferometrischen
Einrichtung als Laser-Doppler-Zweistrahl-
interferometer,

5 Fig. 2 im Prinzip die Schaltung des fotoelektrischen
Empfängers,

Fig. 3 den Aufbau des Empfängers,

Fig. 4 ein Signalflußbild der Signalverarbeitung,

Fig. 5 eine Kleinausführung der erfindungsgemäßen
Einrichtung und

10 Fig. 6 eine Einrichtung mit konvexem Retroreflektor.

Die interferometrische Einrichtung nach Fig.1 besteht aus
einer festen Basis 1 eines Zweistrahlint interferometers und
einem mit einem nicht dargestellten Objekt verbundenen
Retroreflektor 2 der vorzugsweise aus einem Hohlspiegel
15 und einer Linse besteht. Mit e ist der zu messende Abstand
zwischen den Hauptpunkten 3 und 4 der Linsen 5 und 6 be-
zeichnet.

Bei dieser Einrichtung beleuchtet eine als Laser aus-
gebildete Lichtquelle 7 eine opto-akustische Zelle 8,
20 welche das Lichtbündel 9 in eine Anzahl von Beugungsbündeln
beugt, wovon das Bündel 0.-Ordnung (10) für den Meßstrahlen-
gang und das Bündel 1.-Ordnung 11 für den Referenzstrahlen-
gang vorgesehen sind. Das Bündel 0.-Ordnung 10 dient, weil
es den größten Energieanteil besitzt, zur Beleuchtung des
25 Objektraumes und schwingt mit der von der Lichtquelle 7
(Laser) erzeugten Frequenz γ . Die Frequenz des Bündels
1.-Ordnung 11 ist über die in die opto-akustische Zelle 8
einsteuerbare Schallenergie (Trägerfrequenz f_v) modulierbar.
Sie beträgt somit $\gamma + f_v$. Zwei afokale optische Systeme
30 12; 13 und 14; 15, dargestellt durch Linsen, weiten die
bündel 10 und 11 auf. Diesen afokalen Systemen nachge-
schaltete lichtstreuende Elemente in Form von Mattscheiben
16 und 17 geben den Bündeln 10 und 11 die für die nach-
folgende Meßoptik erforderliche Divergenz. Zum besseren
35 Verständnis wurden diese Mattscheiben 16 und 17 hinter

den afokalen Systemen 12; 13 und 14; 15 angeordnet. Vor den afokalen Systemen angeordnet, besitzen sie jedoch eine ausgeglichene Wirkung. Ein Strahlenteiler 18 leitet das Bündel 0. Ordnung 10 der als Meßlinse dienenden Linse 5 zu, die das Licht unter Abbildung eines Flächenelementes der Mattscheibe 16 nach Unendlich in den Objektraum zerstreut. Das vom Retroreflektor 2 erfaßte Licht des Bündels 10 wird in sich zurückgeführt und durch die Linse 5 einem fotoelektrischen Empfänger 19 zugeführt. Im Referenzstrahlengang mit dem Bündel 1.-Ordnung 11 projizieren eine Linse 2 und ein Strahlenteiler 21 das Licht auf den fotoelektrischen Empfänger 19, wobei das Licht dieses Bündels 11 in Apertur und Richtung mit dem vom Retroreflektor 2 zurückgeworfenen Licht übereinstimmt. Beide Bündel 10 und 11 interferieren. Am Bildort der Interferenzen empfängt der fotoelektrische Empfänger 19 die eingesteuerte Trägerfrequenz f_V und die der Objektverschiebung proportionale Dopplereffrequenz f_D . Wie weiter unten näher im Zusammenhang mit den Figuren 2 und 3 erläutert wird, ist der Empfänger 19 gegenüber Gleichlichtanteilen unempfindlich.

Wie Fig. 2 zeigt, besitzt der fotoelektrische Empfänger 19 auf einem Träger 25 eine fotoaktive Schicht 26, die durch gekreuzte rasterartige Zonen 27 in viele Einzelelemente 28 geteilt ist, welche durch kapazitive Koppellemente 29, mit einem gemeinsamen Leiter 30 verbunden sind. Wegen des kapazitiven Widerstandes der Koppellemente 29 werden Gleichlichtanteile unterdrückt, Wechsellichtsignale jedoch, auf deren Frequenz die Kapazität abgestimmt ist, werden an den Ausgang des Leiters 30 geführt, auch wenn sie nur von einzelnen Elementen 28 der fotoaktiven Schicht 26 des Empfängers 19 stammen. Die durch Gleichlichtanteile beaufschlagten Elemente 28 liefern dagegen kein elektrisches Signal an den Leiter 30.

Bei dem in Fig. 3 dargestellten Empfänger 19 ist z.B. als Leiter 30 eine mit einer durchlässigen Metallschicht überzogene Glasplatte vorgesehen. Diese Glasplatte besitzt ein als

Schicht aufgebrauchtes Dielektrikum 31, dessen Dicke auf die von der Größe der Einzelelemente 28 und der Trägerfrequenz f_v erforderlichen Kapazität abgestimmt ist. Die Einzelelemente des Empfängers können auch auf integrierter Basis und unter
5 Verwendung abgestimmter Schwingkreise aufgebaut sein.

Das Signalflußbild nach Fig. 4 zeigt schematisch die Verarbeitung der mit der Trägerfrequenz f_v behafteten Dopplerfrequenz f_D zu einem weiterverarbeitbaren Signal. Es ist ein Sinusgenerator 35 und eine Mischstelle 36 dargestellt.
10 Der Sinusgenerator 35 gibt seine Modulations- oder Trägerfrequenz f_v auf die opto-akustische Zelle 8 und die Mischstelle 36. Der Empfänger 19 ist für Signale der Lichtfrequenz γ zu träge, nimmt jedoch Signale mit der um die Dopplerfrequenz f_D verschobenen Frequenz $f_v \pm f_D$ auf und leitet sie
15 der Mischstelle 36 zu. Hier wird nun die Dopplerfrequenz f_D von der Trägerfrequenz f_v getrennt. Das von der Trägerfrequenz f_v befreite Signal mit der Dopplerfrequenz f_D kann einem nicht dargestellten Impulszähler zur Weiterverarbeitung zugeführt werden, um die Position des Objektes zu er-
20 mitteln.

Das in Fig. 5 dargestellte Laser-Doppler-Zweistrahlin-
terferometer umfaßt eine Basis 41 und einen Retroreflektor 42, der mit dem Objekt verbunden ist. Das von einer nicht
dargestellten Lichtquelle ausgehende Lichtbündel passiert
25 eine Blende 43 und wird durch einen Strahlenteiler 44 in einen Meß- und einen Referenzstrahlengang geteilt. Der Referenzstrahl trifft auf einen schwach reflektierenden Referenzspiegel 45 und wird über den Strahlenteiler 44 auf den fotoelektrischen Empfänger 46 gerichtet. Der Meßstrahl
30 durchläuft eine amplitudenmodulierende Zelle 47 und wird über die Meßlinse 48 in Form von Kugelwellen in den Objekt-
raum verstreut. Bei dieser Einrichtung besitzen Meß- und Referenzstrahlengang die gleiche Frequenz γ . Ein Teil des gestreuten Lichtes im Meßstrahlengang gelangt auf den nicht
35 auf Unendlich fokussierten Retroreflektor 42. Dieser ist auf die Brennweite $f' = \frac{e_m}{2}$, fokussiert, wobei e_m die mittlere Meßlänge ist. Die Apertur des Retroreflektors 42 ist so be-
messen, daß die Unparallelität der interferierenden Wellen-
fronten $\frac{\lambda}{8}$ nicht überschreitet, wobei λ die Wellenlänge des
40 Lichtes ist.

Der Meßstrahl läuft in sich zurück und ist durch die Retroreflektorbewegung nach $\nu \pm f_D$ dopplerverschoben. Nach nochmaligem Passieren der Zelle 47 wird die volle Amplitudenmodulation erreicht. Die Frequenz verändert sich nicht.

5 An der Teilerfläche des Strahlenteilers 44 erfolgt Interferenz zwischen Meß- und Referenzstrahlengang. Der Empfänger 46 nimmt an der Auftreffstelle des vereinigten interferierenden Bündels die mit der Dopplerfrequenz $\pm f_D$ amplitudenmodulierte Strahlung der Trägerfrequenz f_y auf. Das vom Empfänger
10 46 erzeugte Signal wird einer Auswerteeinrichtung zur Gewinnung eines der Meßstrecke ϵ analogen Meßwertes zugeführt. Die Meßstrecke ϵ' befindet sich, wie Fig. 5 zeigt zwischen dem Fokus 49 der Meßlinse 48 und dem äußeren Hauptpunkt 50 des Retroreflektors 42.

15 Das Messen von Abständen mit Retroreflektoren ist im wesentlichen an räumliche Parallelschiebungen gebunden. Es gibt jedoch Zustellbewegungen, die drehend um eine oder mehrere Achsen erfolgen und die Anwendung dieser Retroreflektoren nicht gestatten. Hier ist der Einsatz sphärischer mit kon-
20 vexer Reflexionsfläche versehener Reflektoren gemäß Fig. 6 vorteilhaft. Sie besitzen neben der Drehunempfindlichkeit den Vorzug, daß durch Wahl des Radius der reflektierenden Fläche der Meßpunkt in gewünschte Ebenen, Achsen und Punkte gelegt werden kann, so daß Einflüsse von Drehlagefehlern des Systemes
25 Objekt-Reflektor vermieden werden. Desweiteren sind derartige Einrichtungen in der Strömungsmeßtechnik einsetzbar.

Gemäß Fig. 6 sind die Grundeinheiten einer solchen Einrichtung die Basis 61 und ein sphärischer Reflektor 62. Die
30 monochromatisches Licht liefernde Lichtquelle 7 erzeugt über den schwach reflektierenden Strahlenteiler 63 einen Meß- und einen Referenzstrahlengang 64 und 65. Ein elektro-optisches Bauelement 66 verschiebt die Frequenz des Meßstrahlenganges 64 auf $\nu + f_D$. Von einer Linse 67 wird das Licht des Meßstrahlenganges 64 gestreut und von einem Prisma 68 so abgelenkt, daß
35 der virtuelle Ursprung der Kugelwellen im objektseitigen Haupt-

punkt 3 der Linse 5 liegt. Ein Teil des vom Reflektor 62 reflektierten Lichtes wird von der Linse 5 als Streukreis auf dem Empfänger 19 abgebildet. Das Licht des Meßstrahlenganges 64 besitzt an dieser Stelle aufgrund der Objektverschiebung die Frequenz $\gamma + f_y \pm f_D$. Im Referenzstrahlengang 65 streuen Linse 69 und Prisma 70 so, daß das Licht vom Hauptpunkt 4 einer Linse 71 auszugehen scheint. Linse 72 und Reflektor 73 haben die Aufgabe, Referenzbündel bereitzustellen, die in allen vorkommenden Positionen des Objektes mit dem Meßstrahlengang 64 in Richtung, Bildart und näherungsweise auch in der Apertur übereinstimmen. Das Licht des Meß- und des Referenzstrahlenganges 64 und 65 interferiert am Strahlenteiler 63. Der Empfänger 19 nimmt die Schwebungsfrequenz $f_y \pm f_D$ auf. Die Gewinnung des Signals mit der Frequenz $\pm f_D$ zur Ermittlung von Wegen und Geschwindigkeiten erfolgt, wie bei Fig. 4 gezeigt über eine Mischstelle.

Erfindungsanspruch

1. Interferometrische Einrichtung zum Messen von Abständen und Abstandsänderungen, umfassend eine monochromatische Lichtquelle, strahlenteilende Elemente, einen Meß- und
5 einen Referenzstrahlengang mit Retroreflektoren und fotoelektrische Empfänger, wobei ferner Mittel vorgesehen sind, die Frequenz oder die Amplitude der von der Lichtquelle ausgehenden Strahlung zu modulieren, dadurch gekennzeichnet, daß im Meßstrahlengang optische Elemente
10 zur Erzeugung eines divergierenden Lichtbündels im Objektraum und im Referenzstrahlengang abbildende und zerstreuende Elemente zur Erzeugung eines dem vom Objekt reflektierten Lichtbündel in Apertur und Richtung äquivalenten Vergleichsbündels vorgesehen sind, und daß ein aus fotoaktiven Elementen (28) zusammengesetzter, flächenhafter und Gleichlichtanteile unterdrückender fotoelektrischer Empfänger (19)
15 vorgesehen ist.
2. Interferometrische Einrichtung nach Punkt 1, dadurch gekennzeichnet, daß sowohl im Referenz- als auch im Meßstrahlengang strahlenaufweitende afokale optische Systeme
20 (12; 13 und 14; 15) und diesen zugeordnete Mattscheiben (16; 17) in der lichtquellenseitigen Brennebene einer die eine Mattscheibe (17) auf den fotoelektrischen Empfänger (19) und einer die andere Mattscheibe (16) in Richtung auf
25 einen mit dem Objekt verbundenen Retroreflektor (2) projizierenden Linse angeordnet sind.
3. Interferometrische Einrichtung nach Punkt 1 und 2, dadurch gekennzeichnet, daß im Beleuchtungsstrahlengang eine optoakustische Zelle (8) oder ein anderes elektro-optisches
30 Bauelement zur Aufspaltung des von der Lichtquelle (7) ausgehenden Lichtbündels (9) in eine 0.- und eine 1.-Ordnung (10 und 11) angeordnet ist, wobei das Bündel 0.-Ordnung (10) für den Meß- und das Bündel 1.-Ordnung (11) für den Referenzstrahlengang vorgesehen sind.
- 35 4. Interferometrische Einrichtung nach Punkt 1, dadurch

gekennzeichnet, daß der Retroreflektor(42) im Meßstrahlengang auf die halbe Meßlänge $f = \frac{e_m}{2}$ fokussiert ist, wobei die Apertur des Retroreflektors (42) so bemessen ist, daß die Unparallelität der interferierenden Wellenfronten $\frac{\lambda}{\theta}$ nicht übersteigt, und daß im Meßstrahlengang eine amplitudenmodulierende Zelle (47) angeordnet sind.

5. Interferometrische Einrichtung nach Punkt 1, dadurch gekennzeichnet, daß der mit dem Objekt verbundene Retroreflektor (62) mit einer konvexen Reflektionsfläche versehen ist.
6. Interferometrische Einrichtung nach Punkt 1 bis 5, dadurch gekennzeichnet, daß der fotoelektrische Empfänger (19) eine kreuzrasterförmige fotoaktive Schicht (26) besitzt, deren fotoaktive Einzelelemente (28) durch ein gemeinsames kapazitives Koppellement (29) mit einem gemeinsamen Leiter (30) verbunden sind, wobei der fotoelektrische Empfänger (19) auf festgelegte Trägerfrequenzen der einfallenden Strahlung abgestimmt ist.

Hierzu 4 Seiten Zeichnungen

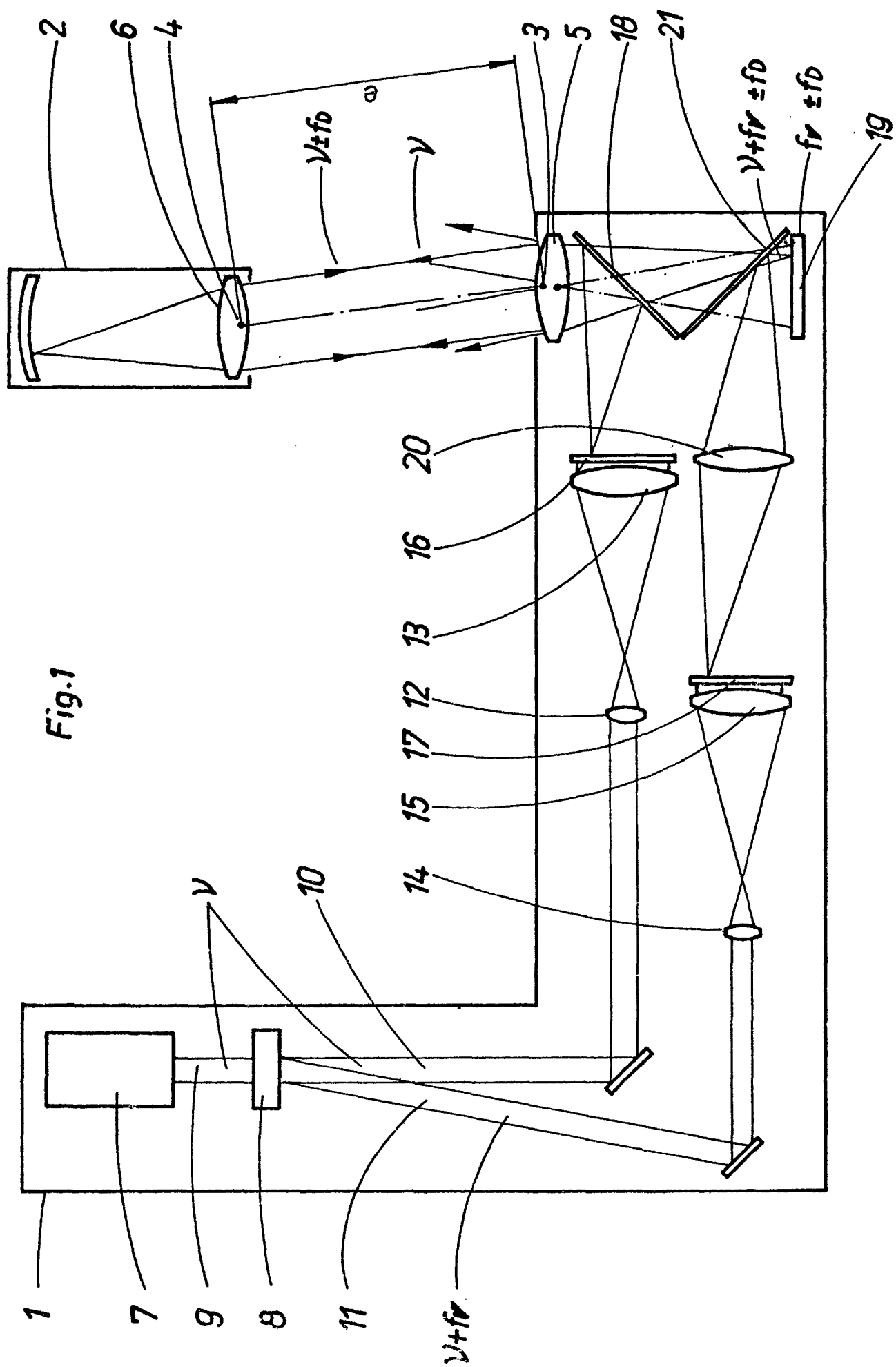


Fig. 4

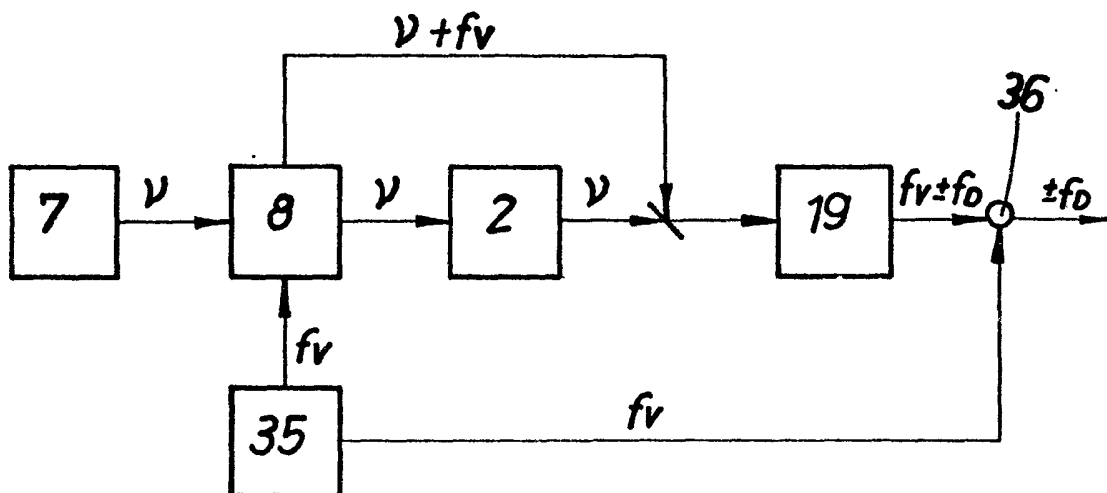


Fig. 2

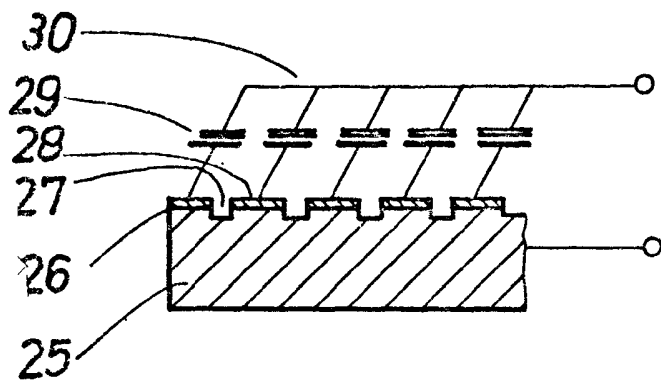
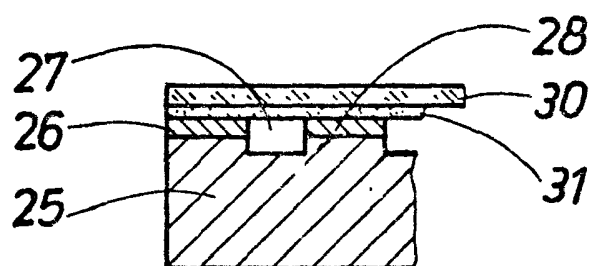


Fig. 3



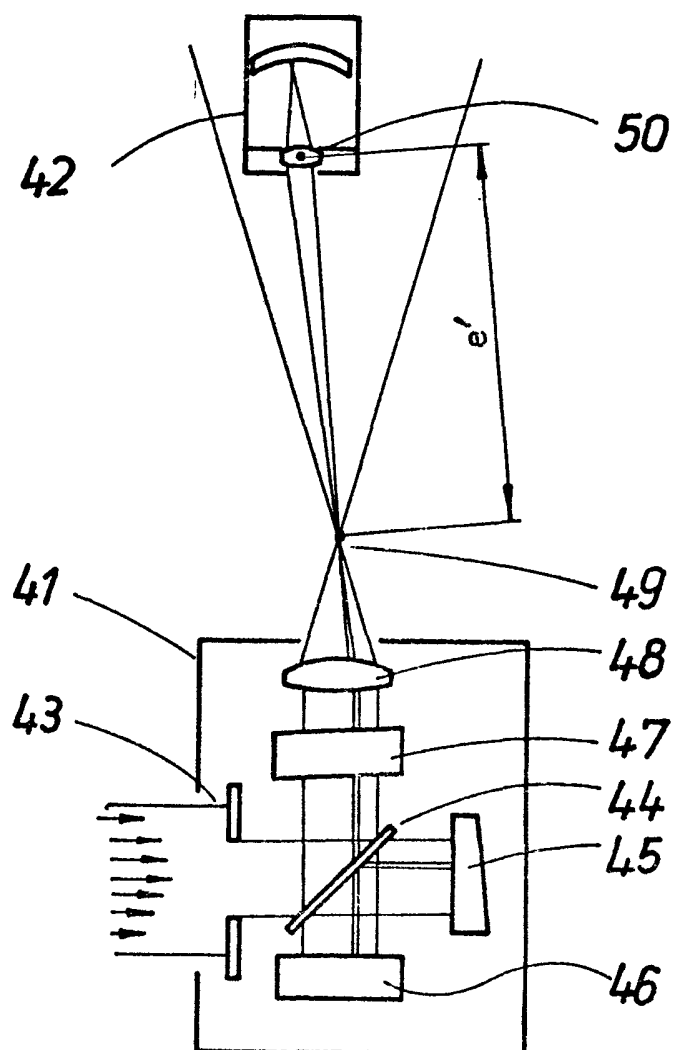


Fig. 5

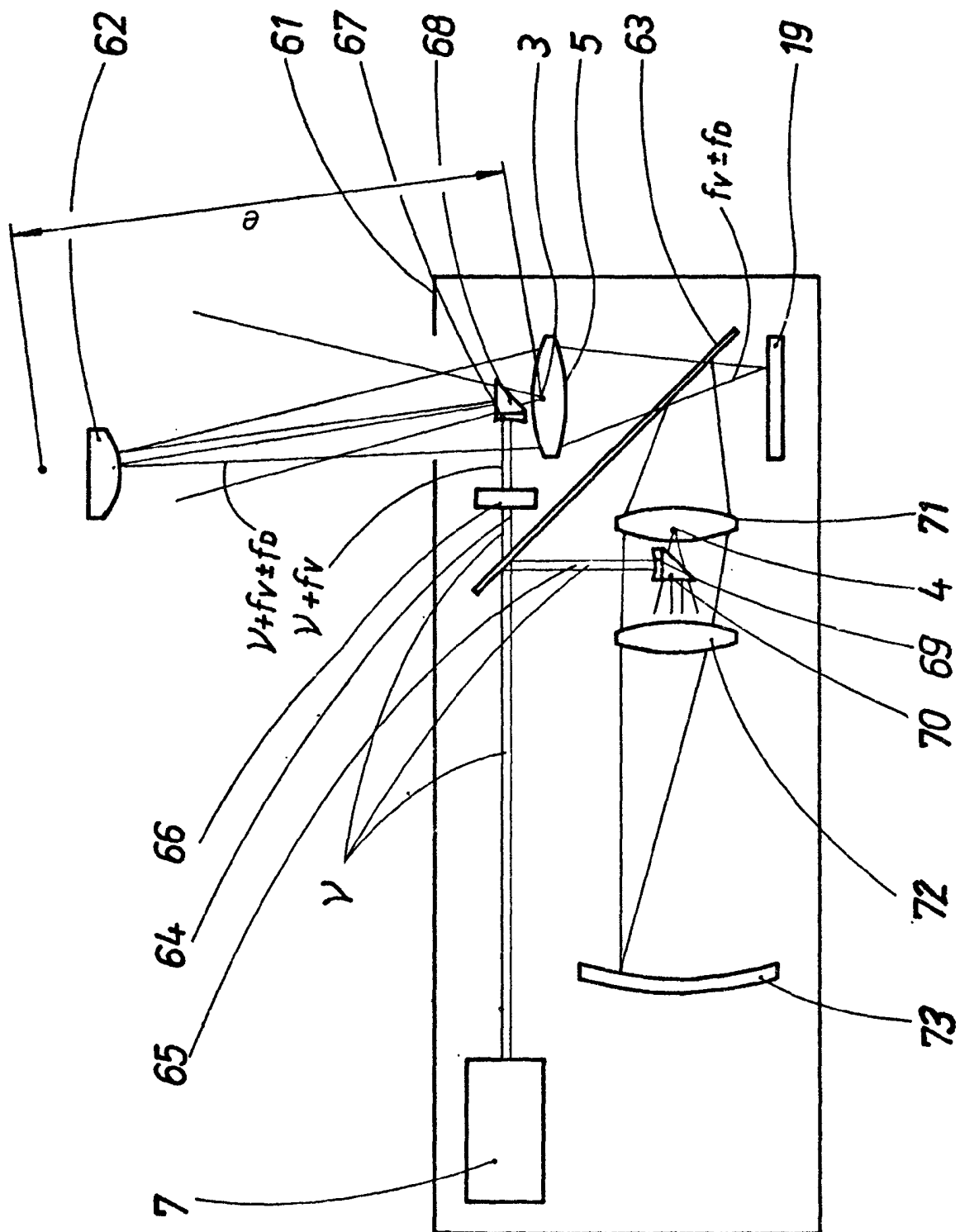


Fig.6